

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR

TECHNIQUES PHYSIQUES POUR L'INDUSTRIE ET LE LABORATOIRE

SCIENCES PHYSIQUES

L'usage de la calculatrice est autorisé.

Le matériel autorisé comprend toutes les calculatrices de poche y compris les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante.

- *Le candidat n'utilise qu'une seule machine sur la table. Toutefois, si celle-ci vient à connaître une défaillance, il peut la remplacer par une autre.*
- *Afin de prévenir les risques de fraude, sont interdits les échanges de machines entre les candidats, la consultation des notices fournies par les constructeurs ainsi que les échanges d'informations par l'intermédiaire des fonctions de transmission des calculatrices.*

PARTIE ÉLECTRICITÉ (durée conseillée 1 h 15)

ÉTUDE D'UN PHASEMÈTRE

Cette partie est constituée de quatre petites études indépendantes.

Le document-réponse doit impérativement (même vierge) être joint à la copie d'électricité.

La numérotation des réponses aux questions doit être scrupuleusement respectée.

LES RÉSULTATS DES APPLICATIONS NUMÉRIQUES SERONT DONNÉS AVEC DEUX OU TROIS CHIFFRES SIGNIFICATIFS.

PRÉSENTATION :

La **figure 1** représente les différentes parties d'un dispositif destiné à fournir une tension V_C continue proportionnelle au déphasage existant entre deux tensions sinusoïdales v_1 et v_2 , de même fréquence f , appliquées sur chacune de ses entrées. La tension de sortie v_C est quasiment nulle lorsque les tensions v_1 et v_2 sont en phase et vaut + 5 V lorsque le déphasage atteint 360° .

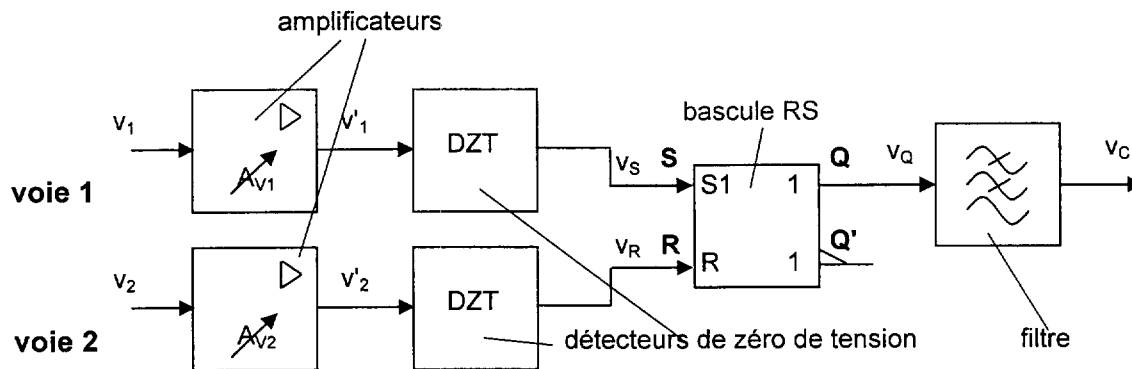


Figure 1

Remarque : La notation S1 indique que la sortie Q de la bascule vaut "1" lorsque les deux entrées sont toutes deux à "1". La table de vérité d'une telle bascule RS est donc :

S	R	Q	Q'
0	0	*	*
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	1	0

le symbole * signifiant la conservation de l'état précédent (états des sorties inchangés).

À l'état logique haut ("1"), les tensions v_S , v_R et v_Q valent + 5 V ; elles sont nulles à l'état bas "0".

Le déphasage φ de v_2 par rapport à v_1 s'écrit : $\varphi = 2\pi f \cdot \tau$, τ désignant le retard du passage par 0 (dans le même sens) de v_2 par rapport à v_1 .

En milieu industriel, les tensions d'entrées peuvent atteindre plusieurs centaines de volts ou seulement quelques fractions de volt (lorsqu'elles sont issues d'un capteur de courant par exemple) : les voies d'entrées sont dotées d'amplificateurs à gain variable.

Les amplificateurs opérationnels sont alimentés par une double alimentation symétrique dont le point milieu est relié à la masse M.

Leurs tensions de saturation hautes et basses valent respectivement + 14 V et - 14 V.

Ils seront par ailleurs considérés comme étant idéaux (intensités des courants d'entrée nulles, résistances de sortie nulles, etc.).

Partie 1 : Étude des amplificateurs

On considère le schéma représenté **figure 2** dans lequel $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 100 \Omega$ et $R_5 = 3,3 \text{ k}\Omega$.

La tension $v_1(t)$ est une tension sinusoïdale de valeur efficace V_1 et d'amplitude $V_{1M} = V_1 \cdot \sqrt{2}$.

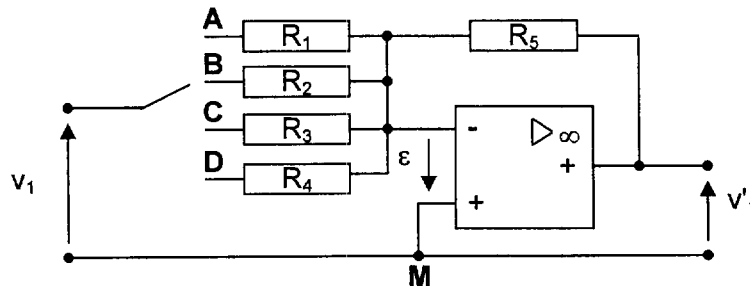


Figure 2

1.1 - La valeur efficace V_1 de la tension d'entrée $v_1(t)$ vaut $230 \text{ V} \pm 15 \%$. On considère le sélecteur sur la position A (la tension v_1 est appliquée sur R_1).

1.1.1 - Calculer la plus grande valeur instantanée possible que peut atteindre v_1 .

1.1.2 - Exprimer la tension de sortie de l'amplificateur v'_1 en fonction de R_1 , R_5 et v_1 lorsque l'amplificateur opérationnel fonctionne linéairement.

1.1.3 - En déduire l'amplification en tension et le gain correspondant sur la position A.

1.1.4 - Calculer la puissance moyenne que doit pouvoir dissiper la résistance R_1 .

1.2 - On considère le montage lorsque le sélecteur est sur la position D : la tension v_1 est alors appliquée sur R_4 .

Déterminer la valeur efficace maximale de la tension v_1 conduisant à la saturation de l'amplificateur opérationnel.

Partie 2 : Étude des détecteurs de passage par zéro

Les tensions v'_1 et v'_2 issues des amplificateurs du montage de la **figure 1** présentent le même déphasage entre elles et sont donc décalées du même retard τ que v_2 par rapport à v_1 .

On considère le schéma représenté **figure 3** dans lequel l'optocoupleur fonctionne en commutation. On rappelle le fonctionnement en commutation d'un optocoupleur :

- si la diode de celui-ci est passante, le transistor est saturé et $v_{CE1} = 0$;
- si la diode de celui-ci est bloquée, le transistor est bloqué et $v_{CE1} > 0$.

Le monostable a une période propre (durée d'état instable) $T_0 = 0,5 \text{ ms}$. Il est déclenché par des fronts descendants de v_{CE1} et alimenté entre la masse (0 V) et $V_{DD} = +5 \text{ V}$.

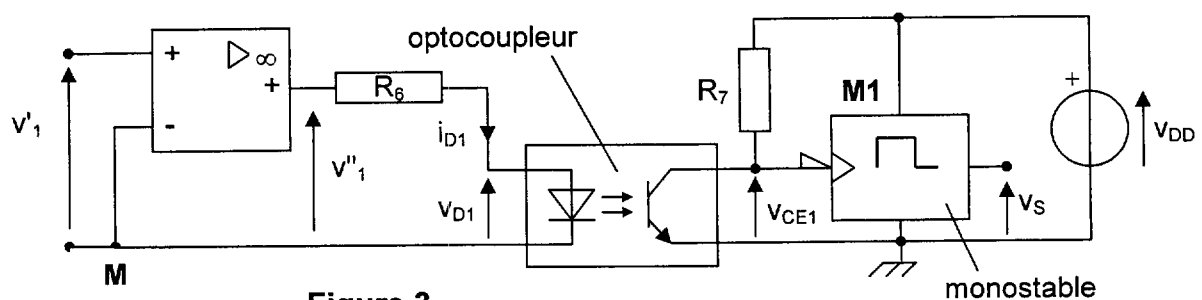


Figure 3

- 2.1 - On considère un intervalle de temps au cours duquel la tension v'_1 est positive.
- 2.1.1 - Pourquoi l'amplificateur opérationnel ne fonctionne-t-il pas linéairement ? Quelle est la valeur de v''_1 ?
- 2.1.2 - On désire que l'intensité i_{D1} du courant dans la photodiode soit égale à 13 mA. La tension v_{D1} à ses bornes étant alors voisine de 1 V, calculer la valeur à donner à la résistance R_6 .
- 2.1.3 - Quel est le niveau logique ("0" ou "1") de la tension v_{CE1} alors appliquée à l'entrée du monostable ?
- 2.2 - On considère un intervalle de temps au cours duquel la tension v'_1 est négative. Quelle est la valeur de v''_1 ? En déduire le niveau logique de la tension v_{CE1} .
- 2.3 - Donner au moins une des fonctions remplies par les optocoupleurs.

Partie 3 : Filtrage de la tension de sortie

On désire obtenir une tension continue par filtrage de la tension v_Q obtenue en sortie de la bascule. Cette tension rectangulaire, comprise entre 0 V (niveau logique "0" de Q) et $+V_{DD} = +5$ V (niveau logique "1" de Q) pour de faibles valeurs de l'intensité i du courant de sortie, possède un rapport cyclique α tel que $\alpha T = \tau$, décalage de v_2 par rapport à v_1 (cf. **figure 4**).

Pour filtrer v_Q , on utilise une résistance R et un condensateur de capacité C selon le schéma de la **figure 5** :

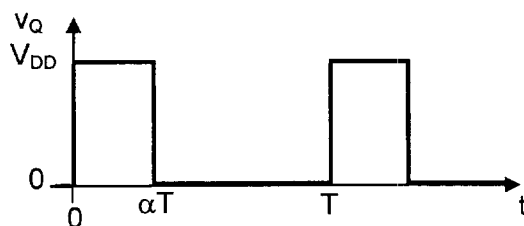


Figure 4

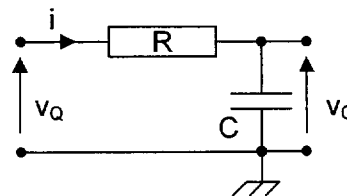


Figure 5

- 3.1 - Quelle est la nature du filtre ainsi réalisé ?
- 3.2 - Établir la relation liant V_{QMOY} à α et V_{DD} .
Calculer V_{QMOY} pour $\tau = 4$ ms et $f = 50$ Hz.
- 3.3 - Lorsque la constante de temps $\tau_1 = RC$ est très supérieure à la période T , on montre que l'écart Δv_C entre les valeurs maximale $V_{C_{MAX}}$ et minimale $V_{C_{MIN}}$ atteintes par v_C s'écrit :
- $$\Delta v_C = V_{C_{MAX}} - V_{C_{MIN}} = \frac{5 \cdot \alpha \cdot (1 - \alpha)}{\tau_1 \cdot f}$$
- 3.3.1 - La fréquence f étant fixée, pour quelle valeur de α cet écart est-il maximal ?
- 3.3.2 - Calculer Δv_C pour $R = 100$ k Ω , $C = 10$ μ F, $\tau = 4$ ms et $f = 50$ Hz.

Partie 4 : Application industrielle

On insère un capteur de courant en série avec le primaire du transformateur selon le montage schématisé **figure 7**.

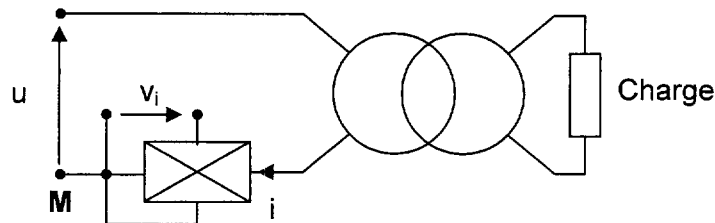


Figure 7

Le capteur, de sensibilité K , délivre une tension v_i proportionnelle à l'intensité i : $v_i(t) = K \times i(t)$, K étant un coefficient positif.

La tension u est appliquée sur la voie 1 du phasemètre ($u = v_1$) tandis que v_i est appliquée sur la voie 2 ($v_i = v_2$).

Chaque détecteur de zéro de tension (DZT) délivre une impulsion positive de durée égale à 0,5 ms à partir du passage par 0 dans le sens croissant de la tension appliquée sur la voie qui le déclenche.

- 4.1 - D'après l'allure de $v_i(t)$ représentée sur le **document réponse**, déterminer, en V/A, la sensibilité K du capteur de courant employé.
- 4.2 - Sur le **document réponse** et en concordance avec les tensions $u(t)$ et $v_i(t)$, représenter l'allure des tensions $v_S(t)$ et $v_R(t)$ appliquées sur les entrées de la bascule. En déduire l'allure de la tension $v_Q(t)$ délivrée par sa sortie.
- 4.3 - Quelle relation simple existe-t-il entre la valeur moyenne de $v_Q(t)$ et le déphasage φ de $v_i(t)$ par rapport à $u(t)$?

Académie : _____ Session : _____

Examen ou Concours _____ Série* : _____

Spécialité/option* : _____ Repère de l'épreuve : _____

Épreuve/sous-épreuve : _____

NOM : _____

(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)

Prénoms : _____ N° du candidat

Né(e) le : _____

(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

DANS CE CADRE

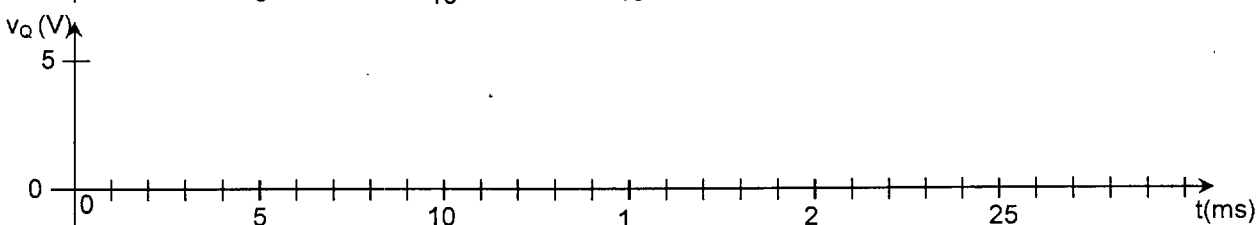
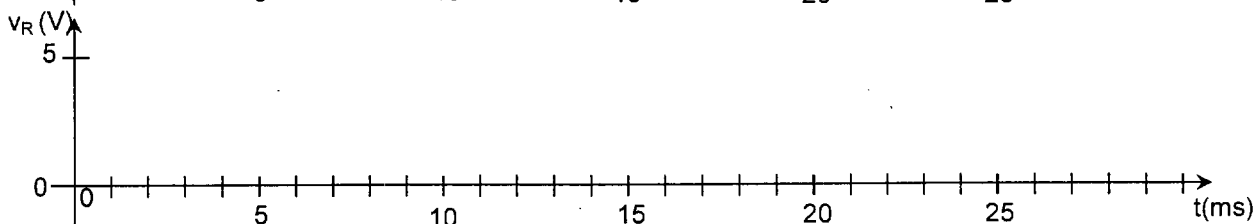
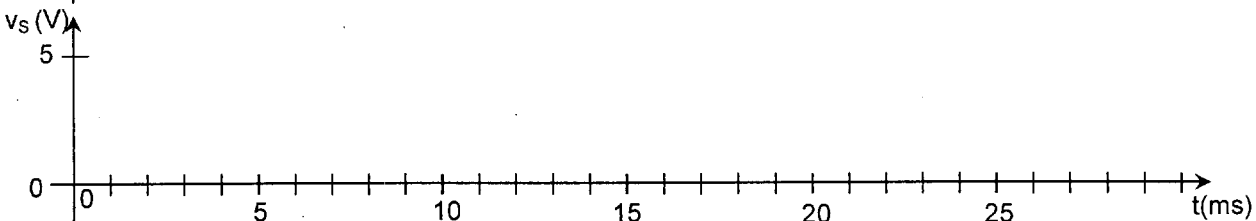
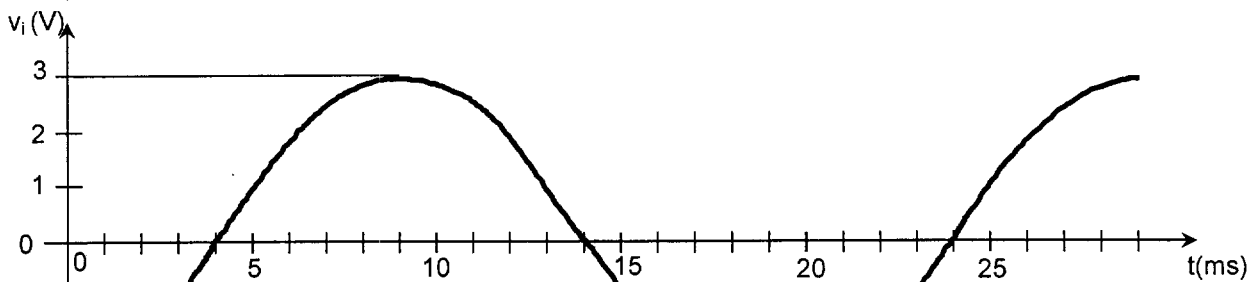
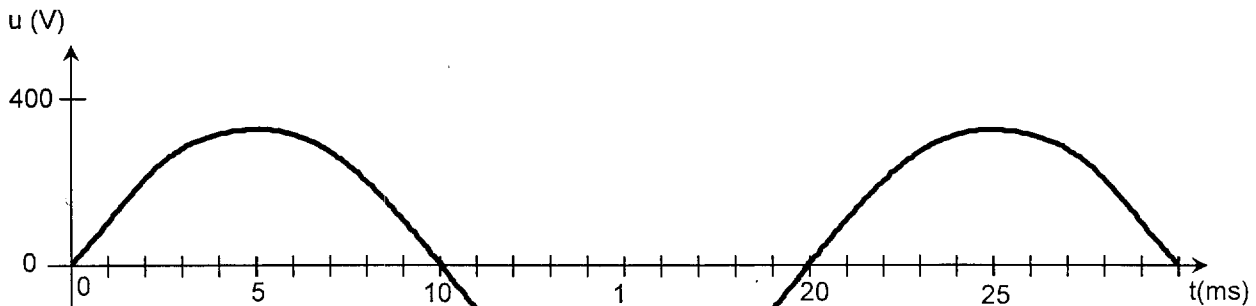
NE RIEN ÉCRIRE

* Uniquement s'il s'agit d'u

Repère : TPSP Session : 2007 Durée : 4 H

Page : 5/13 Coefficient : 4

DOCUMENT RÉPONSE
(à rendre obligatoirement avec la copie)

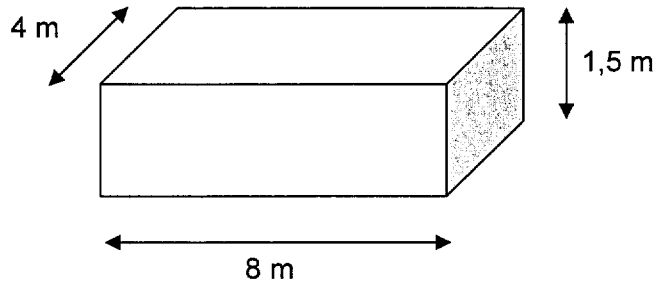


PARTIE MÉCANIQUE, THERMODYNAMIQUE ET CHIMIE (durée conseillée 1 h 30)**LA PISCINE**

Le sujet comporte deux parties indépendantes : la première concerne le traitement de l'eau de la piscine et la seconde son chauffage.

La piscine possède les dimensions suivantes :

- | | |
|---|---|
| { | longueur : 8 m ; |
| { | largeur : 4 m ; |
| { | profondeur lorsqu'elle est remplie : 1,5 m. |

**Partie 1 : Traitement**

Pour traiter l'eau de la piscine, on utilise de l'hypochlorite de sodium NaOCl. Il s'agit de l'agent actif de l'eau de Javel. Il détruit les bactéries, tue les champignons microscopiques et se lie à des composés organiques contenant de l'azote comme l'urine et la sueur pour former des chloramines.

On désire déterminer le volume d'eau de Javel commercial qu'on doit introduire dans la piscine pour que la chloration soit conforme aux normes.

Données :

- Masses molaires atomiques en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$: $M(\text{Cl}) = 35,5$; $M(\text{O}) = 16,0$; $M(\text{K}) = 39,1$; $M(\text{I}) = 126,9$.
- Potentiels standards à 25°C des couples oxydo-réducteur :
 $E^\circ(\text{ClO}^-/\text{Cl}^-) = 1,50\text{ V}$; $E^\circ(\text{I}_2(\text{aq})/\text{I}^-) = 1,39\text{ V}$; $E^\circ(\text{S}_4\text{O}_6^{2-}/\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) = 0,08\text{ V}$.

Au préalable, on effectue un dosage des ions hypochlorite ClO^- présents dans l'eau de Javel commercial.

Protocole du dosage :

- Diluer 10 fois la solution commerciale d'eau de Javel.
- Placer dans un erlenmeyer :
 - ✓ $V_0 = 5\text{ mL}$ de cette solution diluée,
 - ✓ environ 1 g d'iodure de potassium,
 - ✓ environ 50 mL d'eau,
 - ✓ 10 mL d'acide acétique de concentration égale à $1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.
- Placer l'erlenmeyer sous agitation magnétique et titrer avec une solution de thiosulfate de sodium ($2\text{Na}^+ + \text{S}_2\text{O}_3^{2-}$) de concentration $c_1 = 0,1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.
 A l'approche du point d'équivalence, introduire une pointe de spatule de thiodène pour repérer plus facilement l'équivalence (le thiodène donne une coloration noire avec le diiode restant en solution).

1.1 - On appelle c_0 la concentration des ions hypochlorite ClO^- de l'eau de Javel commerciale.

Après dilution, exprimer la quantité de ClO^- placé dans l'erlenmeyer en fonction de c_0 et V_0 .

1.2 - Écrire les deux demi-équations redox correspondant aux couples ClO^-/Cl^- et $\text{I}_2(\text{aq})/\text{I}^-$.

1.3 - Justifier que les ions I^- sont oxydés par les ions ClO^- et montrer que l'équation traduisant la réaction d'oxydo-réduction s'écrit ainsi : $\text{ClO}^- + 2\text{I}^- + 2\text{H}^+ = \text{Cl}^- + \text{I}_2 + \text{H}_2\text{O}$.

- 1.4 - Les ions hypochlorite, en défaut par rapport aux ions iodure, constituent le réactif limitant. En déduire, en fonction de c_0 et V_0 , l'expression de la quantité de diiode présente dans l'erlenmeyer avant le titrage.
- 1.5 - On donne l'équation de la réaction d'oxydo-réduction entre le diiode I_2 et les ions thiosulfate $S_2O_3^{2-}$:
 $2 S_2O_3^{2-} + I_2 = S_4O_6^{2-} + 2 I^-$
 Pourquoi qualifie-t-on ce titrage d'indirect ?
- 1.6 - On note V_{eq} , le volume versé de la solution de thiosulfate de sodium pour atteindre l'équivalence. Quelle relation existe-t-il entre c_1 , c_0 , V_0 et V_{eq} ?
- 1.7 - On donne $V_{eq} = 15,2$ mL. Calculer la valeur de c_0 .
- 1.8 - Le traitement de l'eau doit amener à un apport en ions hypochlorite ClO^- de 2 mg.L^{-1} dans l'eau de la piscine.
 Connaissant les dimensions de la piscine, quel volume d'eau de Javel commerciale doit-on introduire dans la piscine ?

Partie 2 : Chauffage

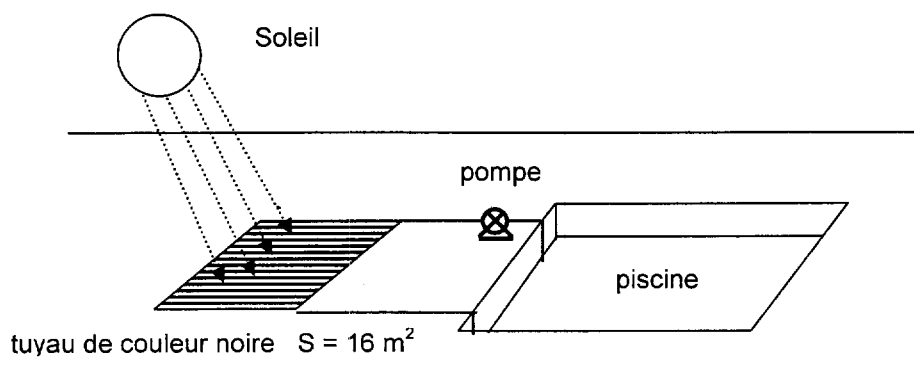
Pour chauffer l'eau de la piscine, on utilise un chauffage solaire.

Le principe consiste à chauffer l'eau de la piscine en la faisant circuler dans un tuyau de couleur noire exposé au Soleil.

La surface de tuyau exposée au Soleil est $S = 16 \text{ m}^2$.

Le débit de la pompe qui fait circuler l'eau est $q_v = 3\,300 \text{ L.h}^{-1}$.

A part le chauffage solaire, on néglige tout autre échange thermique entre l'eau et l'extérieur constitué du sol et de l'air.



Données :

- température moyenne à la surface du Soleil : $5\,800 \text{ K}$,
- diamètre du Soleil : $d_s = 1,4 \cdot 10^9 \text{ m}$,
- distance moyenne Soleil-Terre : $D = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$,
- capacité thermique massique de l'eau : $c = 4,18 \cdot 10^3 \text{ J.kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$,
- masse volumique de l'eau : $\rho = 1\,000 \text{ kg.m}^{-3}$,
- surface d'une sphère de rayon R : $4\pi \cdot R^2$.

2.1 - En supposant que le rayonnement du Soleil est celui d'un corps noir, sa puissance surfacique est donnée par la loi de Stefan-Boltzmann :

$$P = \sigma T^4 \text{ avec } \begin{cases} P : \text{puissance surfacique en } \text{W.m}^{-2} ; \\ T : \text{température en kelvin} ; \\ \sigma = 57.10^{-9} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4} : \text{constante de Stefan.} \end{cases}$$

Calculer cette puissance surfacique P.

2.2 - À partir du diamètre du Soleil, calculer la puissance totale émise par la surface totale du Soleil, dans tout l'espace.

2.3 - En fait une partie de la puissance est réfléchiée et absorbée par l'atmosphère. Au niveau du sol, la puissance solaire reçue par unité de surface est $J_{\text{sol}} = 800 \text{ W.m}^{-2}$.

En effectuant un bilan de puissance, calculer l'élévation de température $\Delta\theta$ que subit l'eau circulant dans le tuyau lors de la traversée du chauffage solaire.

2.4 - En considérant que la température de l'eau de la piscine est homogène et en négligeant la capacité thermique de la piscine, déterminer le temps nécessaire pour élever la température de l'eau de la piscine de 1°C .

PARTIE OPTIQUE (durée conseillée 1 h 15)

DÉTERMINATION DE L'ÉCART DE LONGUEUR D'ONDE DU DOUBLET JAUNE DU MERCURE

Il s'agit, à l'aide d'un interféromètre de Michelson, d'évaluer la longueur d'onde médiane du doublet jaune du mercure puis de déterminer l'écart de longueur d'onde entre les deux raies de ce doublet.

On réalise le montage de la **figure 1-1 (Annexe 1)**. La source étendue est une lampe à vapeur de mercure dont on isole le doublet jaune grâce à un filtre interférentiel. L'interféromètre de Michelson est réglé en lame d'air et on place un détecteur au foyer d'une lentille convergente. Un ordinateur permet de traiter les informations délivrées par le capteur.

Ce doublet consiste en deux radiations de longueurs d'ondes très voisines λ_1 et λ_2 (avec $\lambda_1 < \lambda_2$), les deux systèmes de franges se superposant sur l'écran.

Ce doublet provoque une baisse de contraste périodique : c'est le phénomène d'anti-coïncidence.

Partie 1 : Détermination de la longueur d'onde médiane λ_m du doublet jaune du mercure

Dans cette partie, la source de lumière est assimilée à une lumière monochromatique de longueur d'onde λ_m .

1.1 - Lorsque un interféromètre de Michelson est réglé en lame d'air, quelle est la forme des interférences observées ? Où sont-elles localisées dans le cas où la source est étendue ?

1.2 - Pourquoi place-t-on le détecteur au foyer d'une lentille convergente ?

1.3 - Le schéma de la **figure 1-3 (annexe 1)** représente un modèle équivalent de l'interféromètre de Michelson réglé en lame d'air. L'épaisseur de la lame d'air est notée e . On considère un rayon lumineux issu de la source et qui vient "frapper" la lame d'air selon un angle d'incidence i . Les interférences se forment entre les rayons R_1 et R_2 .

Montrer que la différence de chemin optique entre R_1 et R_2 peut s'exprimer par $\delta = 2.e.\cos i$.

1.4 - On se place dans le cas où l'angle d'incidence est nul ; l'expression de la différence de chemin optique se simplifie et devient $\delta = 2.e$.

1.4.1 - Exprimer l'ordre d'interférence p_0 .

1.4.2 - Le miroir mobile est déplacé très lentement grâce à un moteur. L'épaisseur de la lame d'air augmente de Δe . Exprimer l'ordre d'interférence p_0' .

1.4.3 - On part d'un état initial pour lequel l'ordre d'interférence est entier au centre de la figure. Pour un déplacement Δe du miroir mobile M_1 , on observe N anneaux brillants qui défilent au centre de la figure d'interférences. Ecrire une relation entre p_0 , p_0' et N .

1.4.4 - En déduire l'expression de la longueur d'onde recherchée : $\lambda_m = \frac{2 \times \Delta e}{N}$.

1.4.5 - Lorsque le moteur entraîne le miroir M_1 , l'enregistrement de la **figure 1-4-5 (annexe 2)** est réalisé grâce à l'ordinateur. Il s'agit d'une tension périodique et chaque période correspond à un anneau qui défile au centre de la figure d'interférences. La vitesse du moteur est de 556 nm.s^{-1} .

Rechercher N et Δe .

Calculer en nm la longueur d'onde médiane λ_m du doublet jaune du mercure.

1.4.6 - En fait, le logiciel possède une fenêtre de calcul (voir **figure 1-4-6** à l'**annexe 2**) qui permet d'obtenir plus simplement les longueurs d'onde. La fréquence F_{mes} de la tension périodique obtenue lors de l'acquisition est calculée par le logiciel grâce à un menu FFT (Transformée de Fourier Rapide) et la longueur d'onde est calculée grâce à la formule :

$$\lambda_m = \frac{2 \times V_{moteur}}{F_{mes}}$$

Retrouver cette expression à partir de la relation $\lambda_m = \frac{2 \times \Delta e}{N}$.

Comparer la valeur donnée par le logiciel à celle obtenue à la **question 1-4-5**.

Partie 2 : Détermination de l'écart de longueur d'onde $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ du doublet jaune du mercure

On s'intéresse toujours à l'intensité au centre de la figure donc pour $\delta = 2.e$.

2.1 - Donner les ordres d'interférences p_{01} et p_{02} au centre de la figure pour les deux longueurs d'onde λ_1 et λ_2 .

2.2 - En négligeant un éventuel déphasage dû à la séparatrice, quel est l'état d'interférences au contact optique ?

2.3 - En augmentant l'épaisseur à partir du contact optique, on obtient une première anti-coïncidence. Quelle relation a-t-on alors entre p_{01} et p_{02} ?

2.4 - Pour d'autres épaisseurs e_k , on obtient d'autres anti-coïncidences. La relation entre p_{01} et p_{02} devient alors $p_{01} - p_{02} = \frac{2k-1}{2}$ (k est un entier qui numérote les anti-coïncidences successives à

partir du contact optique). En déduire que : $2e_k \left[\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right] = \frac{2k-1}{2}$.

2.5 - On note :

e_k et e_{k+1} deux épaisseurs successives pour lesquelles on obtient une antioïncidence.

$\Delta e = e_{k+1} - e_k$ la distance parcourue par le miroir mobile entre ces deux antioïncidences.

2.5.1 - Utiliser le résultat de la question précédente pour e_k et e_{k+1} et en déduire que :

$$2 \Delta e \left[\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right] = 1.$$

2.5.2 - En posant λ_m la longueur d'onde médiane et $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ l'écart de longueur d'onde du doublet jaune du mercure, montrer alors que $\Delta\lambda \approx \frac{\lambda_m^2}{2\Delta e}$ (utiliser l'approximation $\lambda_1\lambda_2 \approx \lambda_m^2$).

2.6 - On ajuste la position du capteur de manière à ce qu'il reçoive le centre de la figure d'interférences. On choisit une durée d'acquisition de 416 s. On met en marche le moteur et on lance l'acquisition. Le logiciel enregistre l'intensité au centre du capteur et on observe l'écran de la **figure 2-6** à l'**annexe 3**. On observe des battements qui correspondent aux anti-coïncidences (un zoom a été réalisé pour isoler deux anti-coïncidences consécutives).

En utilisant le résultat de la question précédente et la **figure 2-6**, calculer l'écart de longueur d'onde du doublet jaune du mercure. La vitesse du moteur est toujours 556 nm.s^{-1} .

ANNEXE 1

Figure 1-1

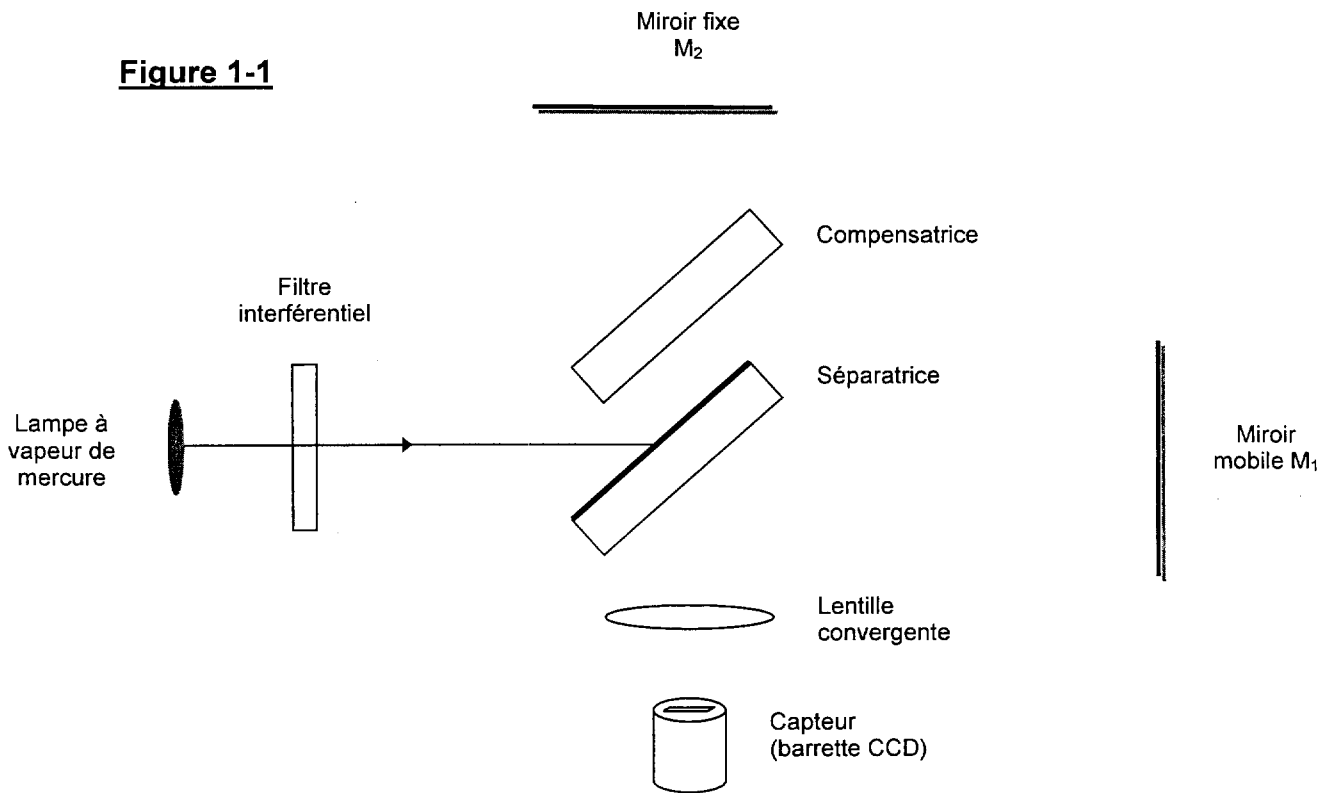
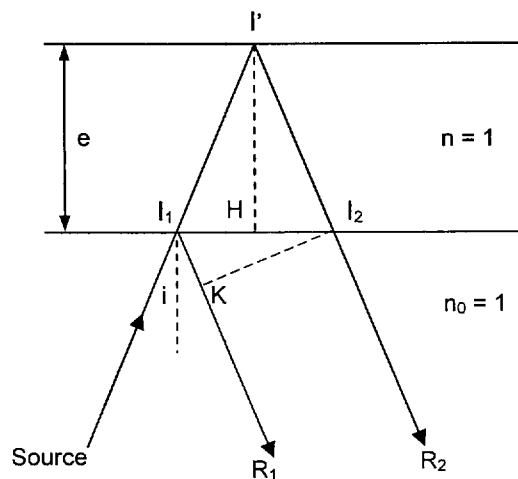


Figure 1-3 : Modèle équivalent de l'interféromètre réglé en lame d'air



ANNEXE 2

Figure 1-4-5 : la durée de l'enregistrement est de 42 s.

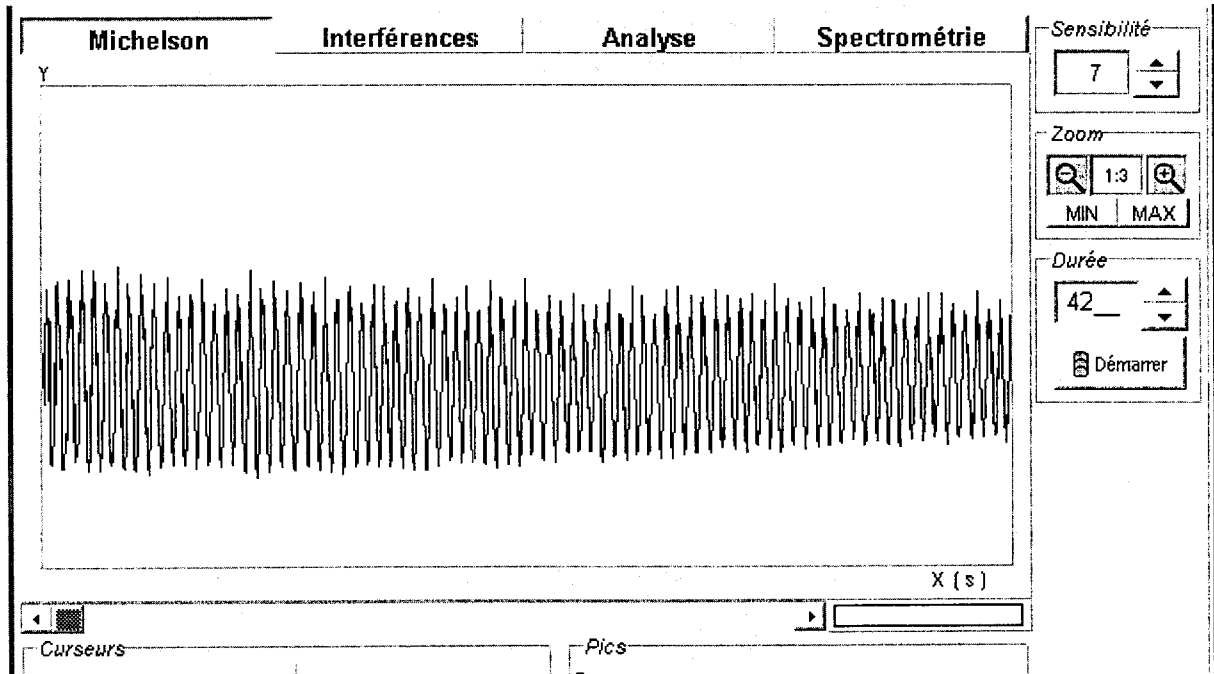


Figure 1-4-6 :

Michelson

Raie Simple/Doublet | Profil Doppler | Filtrés

Calcul de la longueur d'onde

Fréquence (F)	1.93 ± 0000.00 Hz
Vitesse du moteur (V)	0.556 ± 0000.00 µm/s
Longueur d'onde	576.17 ± 0.00 nm

Formule :

$$\lambda = \frac{2 \cdot V_{\text{mot.}}}{F_{\text{mes.}}}$$

Calculer

× Quitter

ANNEXE 3

Figure 2-6 :

